フィルム・シート厚み測定と制御

Measurement and Control Technology in Film and Sheet Manufacturing

土屋　彰彦[*1]　菅谷　郁夫[*1]　佐々木　尚史[*1]
TSUCHIYA Akihiko　SUGAYA Ikuo　SASAKI Takashi

最近のフィルム・シート業界は海外メーカの台頭により製品価格が低下し，製造設備のコストダウン要求が強くなっている。一方，高品質・高付加価値フィルムへの移行により，フィルム品質の高精度測定，材料のムダの削減などが求められている。このような市場ニーズを背景に，当社では，オンライン厚み計'WEBFREX II'シリーズのラインナップとして，ミニマムコストのフレームを新規開発した。また高精度測定に対しては，世界最高レベルの測定範囲，測定精度を持つ新センサを開発した。さらに，高品質化・材料のムダ削減に対しても，ユーザプロセスに最適な選択ができるように各種制御をラインナップしてきた。本稿では，新厚さ計'WEBFREX II'，'BalloonGage'の測定技術と制御技術の特長・機能について紹介する。

In the face of recent stiff competition from low-cost Asian rivals, Japanese plastic film manufacturers have been forced to cut plant investment to cope with declining prices. As a way to differentiate themselves from others, industry players are moving toward high-quality and value-added products. This move is creating demand for enhanced measurement and control technology to realize cost-effectiveness. To meet these market needs, Yokogawa has developed an affordably-priced frame, an addition to the lineup of the “WEBFREX II” series. To meet other requirements for enhanced technology, Yokogawa has succeeded in developing a new high-precision sensor that has the world's largest measuring range. Furthermore, Yokogawa has provided a lineup of control packages users can select to meet their high-quality and material-waste-reduction requirements. This paper describes the features of the new measurement and control technology used in the “WEBFREX II” and “BalloonGage”

1. はじめに

フィルム・シート業界の国内景気は回復傾向にあるが，中国を始めとする海外メーカの台頭などから，フィルム・シート業界も他業種と同様に製品価格は低下の方向にある。また，数年来，より高品質・高付加価値製品化を進め多品種小ロット生産対応にも力を入れてきている。

さらに，近年の原油の高騰は生産コストへの影響も大きい。前述の多品種小ロット生産においての材料のムダ削減には，品種変更時の規格値以内への収束時間の短縮化を進めることが不可欠であり，優れた品質の製品を速く安定的に生産できる生産ラインの構築が重要課題となっている。また，新しい素材開発も活発化しており，従来はメーカで対応していた制御チューニングも，チューニング経験が無いユーザーでも簡便にチューニングできる環境の構築が必要となっている。

こうした状況から，フィルム・シート業界のユーザーでは，厚み調整をオペレータによる手動調整からコンピュータを用いた自動厚み制御へ移行する例が増加している。コストダウン・高品質・高付加価値・材料のムダ削減といったユーザーの要求に応えるため，当社では厚み測定・制御システム'WEBFREX II'（ウェブフレックス2），'BalloonGage'（バルーンゲージ）をフィルム・シート業界向けに開発ラインナップしてきた。本稿では，これらのフィルム・シート業界向けの製品の特長・機能について紹介する。

2. 厚み測定技術

フィルム・シートの成膜には，希望の厚みを均一に成膜することが重要である。'WEBFREX II'，'BalloonGage'センサをシート上で走査（SCAN）させることにより，幅方向の厚み分布（プロファイル）を測定し，そのプロファイルをフィードバック信号として厚み制御を行う。

2.1 'WEBFREX II'システム概要

WEBFREX IIは，当社の厚み測定40年の経験を凝縮

*1 IA事業部システム事業センターP&W SOL部

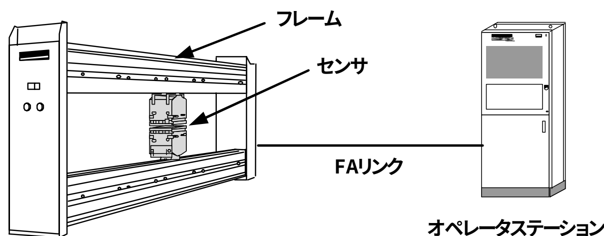


図1　WEBFREX IIシステム構成

したシステムであり，フィルム・シートの厚み測定に必要な様々な工夫が盛り込まれている。特に，長期にわたり高精度で安定した測定が可能なセンサ，堅牢なフレーム，他社にない優れた制御ノウハウには定評がある。

WEBFREX IIシステムは，フレーム，センサ，オペレータステーションから構成されている（**図1**）。各部位のポイントを以下に述べる。

(1) フレーム

フレームには，周囲温度変化・経時変化などを最小限にする高剛性・高耐久性が必要とされる。WEBFREX IIのフレームは，測定対象のフィルム・シート，フレーム設置状況により，最適な選択ができるようにO形フレーム，C形フレームがある。標準で測定幅6 mまで対応でき，要求により，さらに長い測定幅にも対応している。

また，客先アプリケーションによっては，複数のセンサを必要とする場合もあり，搭載センサ数の選択も以下のように可能となっている。

- WG31F6A（O形フレーム／1センサ搭載）
- WG31F9A（O形フレーム／2センサ搭載）
- WG31F7A（C形フレーム／1センサ搭載）
- WG31F8A（C形フレーム／2センサ搭載）
- WG31F10A（O形フレーム／1センサ搭載（X線式検出器のみ））

‘WG31F10A’は，機能を必要最小限とすることでミニマムコストを実現したフレームである。WEBGAGEを使用したことがなかったユーザーへの導入が，より容易となるように考慮した。

① 駆動機構

フィルム・シート上をセンサが走査（SCAN）するための機構である。近年の客先ニーズとしては，製品の高品質化・生産効率向上のため，“測定精度”の向上とライン速度の“高速化”が求められている。WEBFREX IIでは，従来のインダクションモータ方式に加え，ACサーボモータ方式をラインナップに加えることにより，SCAN速度の高速化，幅方向データ位置（プロファイルデータ位置）精度向上を実現し，高速化されたラインにおいても必要なデータが高精度で測定できるようにしている。

- インダクションモータ仕様
  センサヘッドを最大20 m/min（333 mm/s）で走査（SCAN）することが可能である。
- ACサーボモータ仕様
  センサヘッドを最大30 m/min（500 mm/s）で走査（SCAN）することが可能である。また，塗工機などで複数フレームがある場合のフレーム同期運転においても，正確なトレースが実現できる。

② 測定演算部（フレームプロセッサ）

フィルム・シートの高品質化，また上述のライン速度高速化のため，データ精度・データ数・処理速度の向上が求められている。当社のPLC（FA-M3）を測定演算部に使用することにより，リアルタイム高速演算が可能となり，高速SCANと最大測定点数1200点のプロファイル生成を実現した。

(2) センサ

多種多様な材質・厚みのフィルム・シートの測定と同時に，高品質化に伴う高精度測定が求められる。WEBFREX IIでは，測定対象のフィルム・シートにより，β線，X線，赤外線を用いた3種類の検出器から，以下のようにセンサを選択することができる。いずれも非接触センサなので，測定対象を傷つけることなく連続測定を行うことができる。

- β線式検出器（測定範囲：0～5000 g/m^2 @アルミニウム）
- X線式検出器（測定範囲：0～2000 g/m^2 @ PET）
- 赤外線式検出器（測定範囲：0～2000 μm @ PP）
- WideRangeX計（測定範囲：0～1200 g/m^2 @アルミニウム）

これらのセンサは，全て自社開発である。

(3) オペレータステーション

当社のPLC（FA-M3）のシーケンスCPUモジュールとPC-AT互換CPUモジュールを併用し，専用バス（FAリンク）に独自のページングプロトコルを加え，オペレータステーションを構成している。

①ヒューマンインタフェース機能

フレームプロセッサで生成したプロファイルによる操業監視と，フレームへの動作指令などを行う。液晶タッチパネルの採用により，見易く操作し易い画面を実現した。

②高速フレーム同期演算機能

1台のオペレータステーションで最大4本のフレームを統括することができる。また，最大3本のフレーム同期制御を行う。一つのラインに複数のフレームを設置し，上流側フレームで測定した場所を，下流側フレームで同じ軌跡をなぞるように測定して同期演算をすることが可能である。

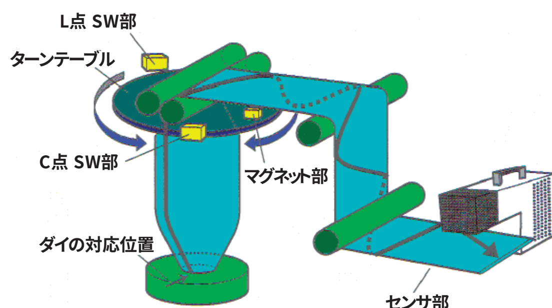


図 2　BalloonGage とインフレーション法製造設備

③その他の機能

帳票管理用に，画面イメージをバックグランドで印刷するグラフレポート機能，各画面のガイダンスメニューから展開する取扱説明書表示機能，流れ方向(MD)制御を行う機能，操業パネルのアナンシエータやランプ制御およびスイッチ入力に対応するI/O制御，幅方向(CD)制御通信を行うゲートウェイ機能がある。

2.2 ‘ BalloonGage ’ システム概要

BalloonGage は，インフレーション法によるフィルム製造設備専用のシステムである。既設の設備にも容易に取り付けられ，オンラインでフィルム厚みを簡単な操作で測定できる。回転ダイ，または旋回ロール設備と組み合わせて使用することにより，プロファイルを作成する(**図 2**)。

BalloonGage システムは，センサ部，オペレータステーションから構成される。各部位のポイントを以下に述べる。

(1) センサ部

小型で取扱いが容易な反射型レーザ距離計(測定範囲：0 ～ 1.00 mm)を使用。持ち運びが可能な設計で，複数ラインに一つのセンサという使い方も可能である。

(2) オペレータステーション

測定演算部と画面表示部をコンパクトにまとめ，容易に追加設置ができることを考慮した設計である。測定演算部には当社のPLC(FA-M3)を使用し，表示部には小型ながらも視認性・操作性に優れたタッチパネル表示器を使用した。また，コンパクトフラッシュカードへのバックアップ機能により，ハードディスクを使用しない構造とした。プロファイルは視認性が良く，ダイ調節ボルト調整の可能な60点プロファイルを表示する。

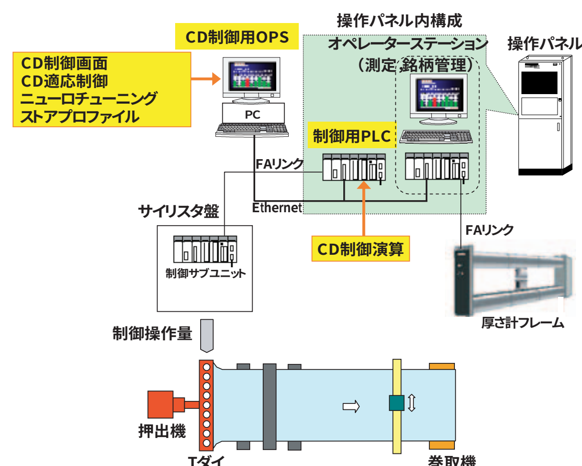


図 3　厚みプロファイル制御システム構成

2.3 ‘ WEBFREX II ’ のアプリケーション事例

単層のフィルム・シートの厚み測定だけではなく，複合フィルム・シートの厚み測定，塗工層のみの厚み測定も“ 複数フレームの差分演算 ”,“ B，X塗工演算 ”などにより実現している。また，電池電極素材に良く，ある短冊状フィルム・シートの測定も，素材塗工部分だけの測定を行う “ マルチセットポジション ” 機能，測定値から素材未塗工部を自動判断して無効値とする “ ストライプ塗工演算 ” 機能，などにより実現している。

下記に，単層フィルム・シート以外のアプリケーションの一例を挙げる。

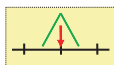
・電池電極・塗工材
・セラミックコンデンサ
・ラミネートフィルム
・極薄フィルム
・高坪量物質(建材，塩ビ，金属材料)
・幅広フィルム

3.　厚みプロファイル制御技術

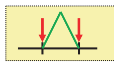
WEBFREX IIにおける制御機能のシステム構成を，**図3**に示す。フレームで測定された厚みプロファイルをフィードバック信号として，専用PLC(FA-M3)において制御演算が行われる。制御に関するオペレータ操作，制御チューニングなどは，専用のPC(CD制御用OPS)において行われる。制御操作量は，サイリスタ盤を介してヒートボルトのヒータに送られ，ヒートボルトの温度を調節する。ヒートボルトは，その温度による熱膨張によって長さが調節され，それによりTダイの先端部のリップ開度が調節され，リップから流れ出るフィルムの厚みプロファイルを制御することができる。WEBFREX IIにおける厚みプロファイル制御手法には次の3つがあり，各々以下に述べるような特長を持つ。また，位置対応を自動的に修正する機能として，CD適応制御機能がある。

(1)ローカルルール …………典型的な3種類の局所パターンに対する基本操作パターンを見付ける

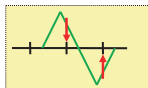
ルール1………もぐらたたき



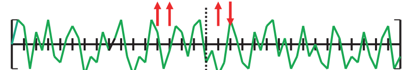
ルール2………2本同時に UP/DOWN



ルール3………互い違いに操作



(2)グローバルルール…………内側から順番に外側に操作する。1回の操作では2～3個所しか操作しない。



プロファイルの応答を確認してから次の操作ステップに移る。

図 4　熟練オペレータの操作ルール

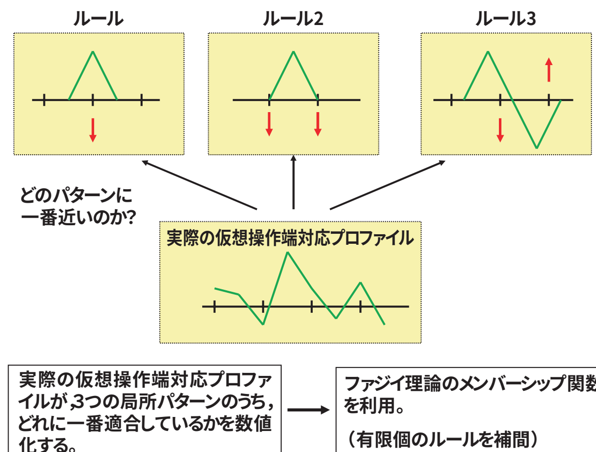


図 5　メンバーシップ関数の利用

3.1 仮想操作端対応最適化制御

ダイボルト上だけでなく，各ダイボルトの中間でもプロファイルを平均化して得られる，ダイボルト本数の 2 倍の点数から成る仮想操作端対応プロファイルを作成し，それが平らになるように最適化制御演算を行う。これにより，ダイボルト上のプロファイルのみを制御対象とした従来の操作端対応制御では，しばしば問題になったダイボルト間のプロファイルの山谷の発生を防ぐことができる(1)。

3.2 エキスパートファジイ制御

熟練オペレータの手動によるダイボルト操作方法を，ファジイ理論を用いてアルゴリズム化した制御手法。ダイボルト操作によるプロファイル応答の再現性の少ないマシン(主に二軸延伸機)において，従来制御に比べて安定性の高い制御を実現する。**図 4** に，熟練オペレータの操作ルールを示す。操作ルールにはローカルルールとグローバルルールがある。ローカルルールは，プロファイルの山谷とダイボルトとの位置関係により，ダイボルト操作を三つの基本操作パターンに分けている。グローバルルールは，ローカルルールで得られた個々のダイボルト操作を，全体的にどのように組み合わせるかを規定する。また，ローカルルールにおける基本操作パターンの選択においては，ファジイ理論のメンバーシップ関数を利用して，現在のプロファイルが三つの局所パターン(**図5**)のどれに一番近いかを判別している(2)。

3.3　有限整定応答制御

サンプル値制御における有限整定応答法を，プロファイル制御にも応用した。むだ時間＋一次遅れ系の内部モデルを持ち，むだ時間が長いマシンでも，最短時間で目標値に整定させることができる。ラインが非常に長く，数十分といった長さのむだ時間を持つマシンにも適用され，効果を発揮した実績がある。

3.4　CD 適応制御

厚みプロファイル制御において最も重要なチューニング項目である位置対応を，プロファイル制御を実施しながら自動的に修正する機能。詳細は，本特集号の別報(“抄紙機測定制御システム B/M9000CS における最新制御技術”p.13)を参照されたい。

4.　お わ り に

WEBFREX II，BalloonGage は厚みを測定するだけではなく，測定したプロファイルデータを基に最適な制御を行うことにより，フィルム・シートの高付加価値化・高品質化・歩留まりの向上，材料・工数の削減に寄与できると考えている。さらに，生産支援(格付け裁断支援システム)・品質管理(プロファイルスタックサーバ)などのパッケージを付加することにより，より効率よく生産することが可能となる。

また，保守点検サービスや予防保全メニューの充実にも力を入れており，ユーザーのトータルライフサイクルコストの低減など，様々な面からサポートできるトータルソリューションを提供する。

参 考 文 献

(1) 佐々木尚史，松田光弘，山本重彦，橋本伊織，“仮想スライスボルト対応最適化制御による抄紙機の坪量プロファイル制御”，化学工学論文集，Vol. 25，No. 6，1999，p. 947-954

(2) 佐々木尚史，山本重彦，橋本伊織，“エキスパートファジイ制御による抄紙機の坪量プロファイル制御”，化学工学論文集，Vol. 25，No. 6，1999，p. 904-913

* ‘WEBFREX II’，‘BalloonGage’，‘FA-M3’，‘B/M9000CS’は，横河電機(株)の登録商標，‘WideRangeX’は商標です。